

PROCESADORES DE PROPÓSITO GENERAL

2º Curso de Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas

PRÁCTICA 1

Introducción a la familia MCS-51

Curso 2004/2005

Objetivos

- Conocer los microcontroladores más representativos de la familia MCS-51 de Intel y los recursos que éstos poseen.
- Indicar qué otros fabricantes producen microcontroladores compatibles con la familia MCS-51.
- Analizar la arquitectura interna básica de los dispositivos de esta familia.
- Conocer los distintos tipos de encapsulado de los microcontroladores 8051/8052 y las funciones de los diferentes pines.
- Conocer qué condiciones deben cumplirse para provocar un *reset* al microcontrolador y su efecto sobre el mismo.
- Conocer cuáles son los elementos mínimos necesarios para la implementación de un sistema mediante un integrante de la familia MCS-51.

Contenido

Material disponible

- Cañón para la proyección de diapositivas.
- Pizarra

Bibliografía

- Introducción a los microcontroladores. Hardware, software y aplicaciones. José A. González Vázquez. McGraw-Hill 1992. Capítulos 3 y 4.
- Manual de usuario de la familia de microcontroladores MCS-51 de Intel. Capítulos 1 y 2.
- Diseño electrónico. Circuitos y sistemas. C. J. Savant; Martin S. Roden; Gordon L. Carpenter. Addison-Wesley Iberoamericana 1992. Capítulo 1.

Temporización

1.5 horas de laboratorio.

1.1 La familia MCS-51

La MCS-51, ó simplemente 51, es una familia de microcontroladores desarrollada por la empresa Intel. El miembro original de dicha familia fue el microcontrolador 8051, que da nombre a la misma, y cuya arquitectura sirvió de base para el desarrollo del resto de los dispositivos.

En la Tabla 1.1 se representan las principales características de los miembros más populares de esta familia. Para más información se remite al lector al manual de usuario de la familia MCS-51 de Intel.

Dispositivo	ROM (Bytes)	RAM (Bytes)	Velocidad (MHz)	Líneas E/S	C/T	UART	Fuentes de Interrupción	Canales PCA	Canales A/D	Bits Seguridad	Idle y PD
8031AH	-	128	12	32	2	1	5	0	0	0	No
8051AH	4K ROM	128	12	32	2	1	5	0	0	0	No
8751BH	4K EPROM	128	12	32	2	1	5	0	0	2	No
8032AH	-	256	12	32	3	1	6	0	0	0	No
8052AH	8K ROM	256	12	32	3	1	6	0	0	0	No
8752BH	8K EPROM	256	12	32	3	1	6	0	0	2	No
80C31BH	-	128	16	32	2	1	5	0	0	0	Si
80C51BH	4K ROM	128	16	32	2	1	5	0	0	0	Si
87C51	4K EPROM	128	24	32	2	1	5	0	0	3	Si
80C32	-	256	24	32	3	1	6	0	0	0	Si
80C52	8K ROM	256	24	32	3	1	6	0	0	1	Si
87C52	8K EPROM	256	24	32	3	1	6	0	0	3	Si
87C54	16K EPROM	256	24	32	3	1	6	0	0	3	Si
87C58	32K EPROM	256	24	32	3	1	6	0	0	3	Si
87L58	32K OTP ROM	256	20	32	3	1	6	0	0	3	Si
87C51FC	32K EPROM	256	24	32	3	1	7	5	0	3	Si
87C51GB	32K EPROM	256	16	48	3	1	15	10	8	3	Si

Tabla 1.1. Principales características de los miembros más populares de la familia 51.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, los modelos denotados como 80X3X no poseen memoria de programa interna, los denotados como 80X5X poseen memoria tipo ROM de máscara programable en fábrica, y los denotados como 87X5X incorporan una memoria de programas interna de tipo EPROM, programable y borrable por el usuario.

Por otro lado, los dispositivos denotados como 8XX2 (en adelante 8052) presentan una mayor capacidad de memoria, tanto de programas como de datos, así como un *timer* (contador/temporizador) más que los denotados como 8XX1 (en adelante 8051). Al margen de estas diferencias y de otras que derivan de ellas, se puede afirmar que "todo programa que funcione correctamente en un 8051 lo hará en un 8052", aunque no siempre ocurre al contrario. En lo sucesivo, se resaltarán las diferencias entre dichos dispositivos, con objeto de que se puedan reconocer perfectamente las características de unos y otros.

En la actualidad, existen numerosos fabricantes (Atmel, Cypress, Daewoo, Dallas, Maxim, Phillips, Sharp, Siemens, etc.) que comercializan microcontroladores compatibles con la familia MCS-51, algunos de los cuales incorporan recursos o características especiales tales

como un mayor (o menor) número de líneas de E/S, memoria de programa tipo FLASH, bus I^2C, *watchdog*, doble DPTR, mayor número de niveles de prioridad en las interrupciones, etc.

1.2 Arquitectura general de los microcontroladores 8051/8052

El diagrama de bloques de la Figura 1.1 muestra la arquitectura general de los microcontroladores 8051/52.

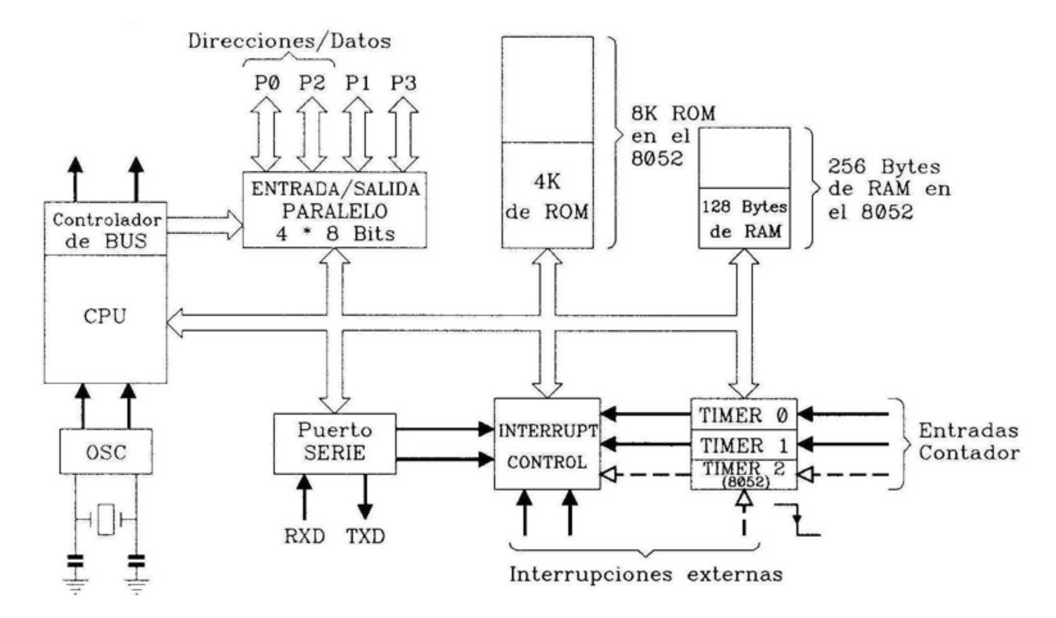


Figura 1.1. Diagrama de bloques de los microcontroladores 8051/52.

Las características generales de estos dispositivos son las siguientes:

- CPU de 8 bits.
- Procesador booleano (operación sobre bits individuales).
- 4 puertos de 8 bits.
- Para el 8051, 128 *bytes* útiles para el usuario y 256 *bytes* incluyendo el área de los registros especiales (SFR). Para el 8052, 256 *bytes* de memoria interna RAM útil para el usuario y 384 *bytes* en total considerando el SFR.
- 4 K*bytes* de ROM (8051) o EPROM (8751). 8 K*bytes* para el 8X52.
- Espacio de memoria de 64 K*bytes* para programa externo.
- Espacio de memoria de 64K para datos externos.
- El 8051 contiene dos contadores-temporizadores (*timer*s). El 8052 presenta tres *timer*s.
- Comunicación asíncrona *full-duplex*.
- 5 fuentes de interrupción con niveles de prioridad (6 para el 8052).
    - 2 interrupciones externas.
    - 2 interrupciones de los timers (3 para el 8052).
    - 1 interrupción de la comunicación serie.
- Oscilador interno.

En la Figura 1.2 se puede apreciar con mayor detalle la arquitectura de los microcontroladores 8051/52.

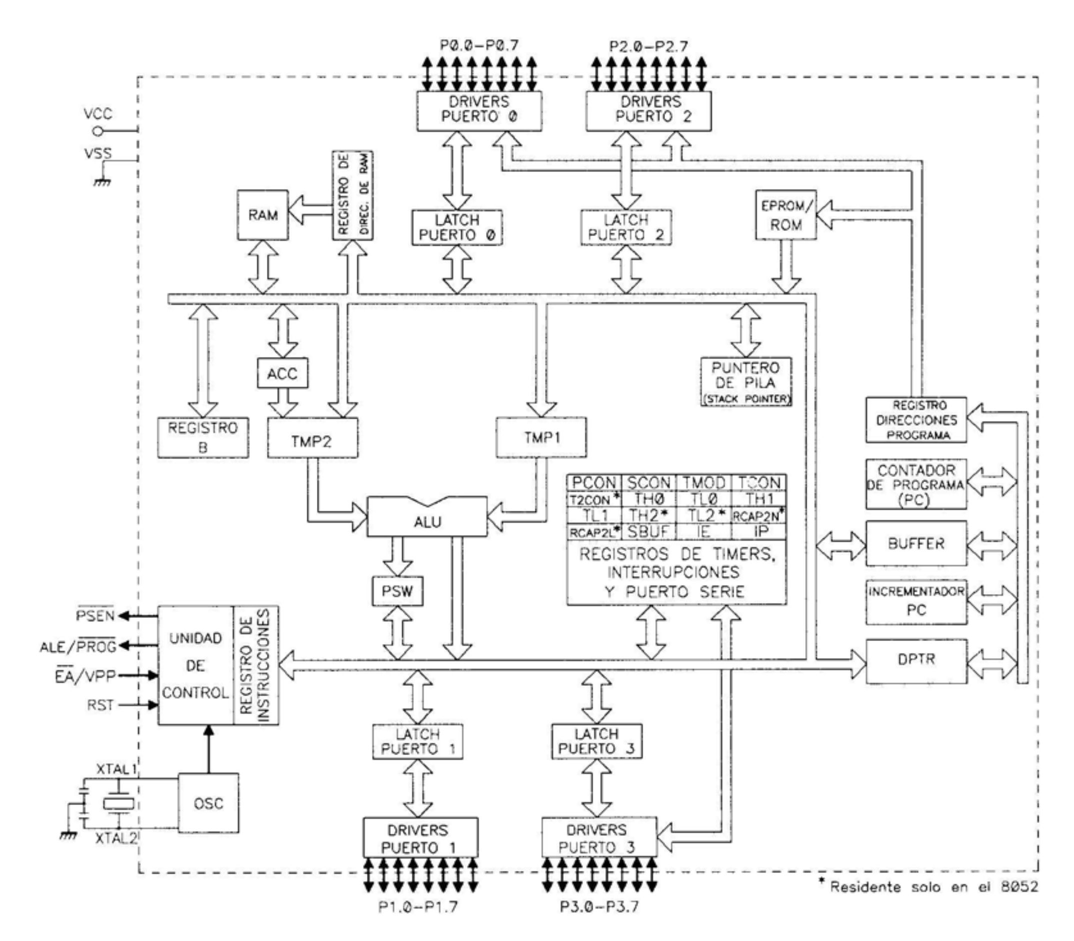


Figura 1.2. Arquitectura detallada de los microcontroladores 8051/52.

1.3 Patillaje de los microcontroladores 8051/52.

Los microprocesadores de la familia 51 se comercializan con varios tipos de encapsulado, entre los que destacan el DIP y el PLCC representados en la Figura 1.3.

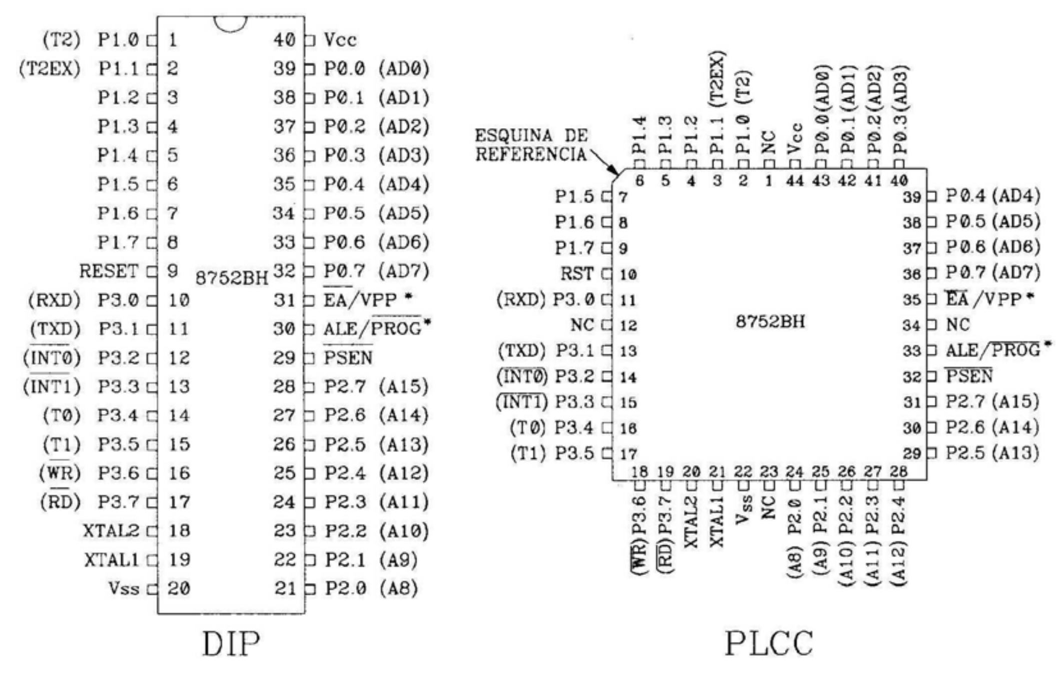


Figura 1.3. Encapsulados DIP y PLCC correspondientes al 8052.

Como puede observarse, con objeto de reducir el número de pines del encapsulado, la mayoría de las patillas poseen funciones alternativas (expresadas entre paréntesis). A continuación se detalla la nomenclatura de los pines que aparecen en dichos encapsulados, realizando una breve descripción de las funciones desempeñadas por los mismos.

Vcc: Terminal positivo de la alimentación (+5 voltios).

Vss: Masa de la alimentación (0 voltios).

P0.0 - P0.7 (Puerto P0): Puerto bidireccional de 8 bits con salidas en colector abierto. Además de actuar como líneas de E/S, a través de estos 8 pines se multiplexa en el tiempo la parte baja del bus de direcciones y el bus de datos, durante los accesos a la memoria externa de programas y de datos. El Puerto 0 también recibe los *bytes* de código durante la programación de la memoria EPROM integrada y suministra los *bytes* de código durante la verificación de la memoria EPROM o ROM.

P1.0 - P1.7 (Puerto P1): Puerto quasibidireccional de 8 bits. Recibe la parte baja de las direcciones durante la programación y verificación de la memoria EPROM interna. Además (solamente en el microcontrolador 8052), los bits P1.0 y P1.1 poseen otras funciones especiales que se indican en la Tabla 1.2.

Pines	Función alternativa
P1.0	T2: Entrada externa del *timer* 2.
P1.1	T2EX: Entrada de captura e impulsos de recarga del *timer* 2.

Tabla 1.2. Funciones alternativas del Puerto 1.

P2.0 - P2.7 (Puerto P2): Puerto quasibidireccional de 8 bits. En su función alternativa, estas 8 líneas actúan como parte alta del bus de direcciones en los accesos a memoria externa, tanto de código como de datos, cuando se utilizan 16 bits de dirección. En los accesos a la memoria de datos externa con direccionamiento de 8 bits, estos pines actúan como líneas de E/S del Puerto 2. Durante la programación y verificación de la memoria EPROM interna, a través de estos 8 pines se recibe la parte alta de la dirección.

P3.0 - P3.7 (Puerto P3): Puerto quasibidireccional de 8 bits. Las funciones alternativas de estos pines se muestra en la Tabla 1.3.

Pines	Función alternativa
P3.0	RXD: Entrada del puerto serie.
P3.1	TXD: Salida del puerto serie.
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$: Entrada de la interrupción externa 0.
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$: Entrada de la interrupción externa 1.
P3.4	T0: Entrada externa del *timer* 0.
P3.5	T1: Entrada externa del *timer* 1.
P3.6	$\overline{\text{WR}}$: Habilitación de escritura para dispositivos externos.
P3.7	$\overline{\text{RD}}$: Habilitación de lectura para dispositivos externos.

Tabla 1.3. Funciones alternativas del Puerto 3.

ALE/$\overline{\textbf{PROG}}$: ALE (*Address Latch Enable*) es un pulso que emite el microcontrolador para almacenar en un *latch* externo el byte bajo del bus de direcciones en los accesos a la memoria externa. ALE se emite con una frecuencia igual a 1/6 de la frecuencia del reloj. $\overline{\text{PROG}}$ es la patilla de entrada de pulsos de programación de la memoria EPROM interna.

$\overline{\text{PSEN}}$: $\overline{\text{PSEN}}$ (*Program Store ENable*) es la señal de habilitación de lectura para la memoria de externa de programa. La memoria externa tiene dos modalidades, de "programa" y de "datos". Para diferenciarlas, en los accesos a memoria de código se activa la señal $\overline{\text{PSEN}}$ en vez de la señal $\overline{\text{RD}}$. La señal $\overline{\text{PSEN}}$ no se activa en los accesos a la memoria ROM o EPROM interna.

$\overline{\text{EA}}$/VPP: Cuando la señal $\overline{\text{EA}}$ (*External Access*) se mantiene a nivel alto, se ejecuta el programa de la ROM interna, a menos que el contador de programa exceda de 0FFF (4 K*bytes*) para el 8051 o de 1FFF (8 K*bytes*) para el 8052. Si $\overline{\text{EA}}$ se mantiene a nivel bajo, se ejecuta el programa ubicado en la memoria externa, independientemente de la dirección de programa. Es decir, si $\overline{\text{EA}}$ = 1 el circuito actúa como microcontrolador y si $\overline{\text{EA}}$ = 0 actúa como microprocesador. VPP es el *pin* a través del cual se aplica la tensión de programación (+12.75 V aproximadamente) durante la grabación de la memoria EPROM interna.

XTAL1 y XTAL2: Entrada y salida, respectivamente, del circuito de reloj interno del microcontrolador.

RESET: Señal de inicialización del sistema.

1.4 Fuente de alimentación

Todos los elementos activos de un sistema electrónico necesitan de una fuente de alimentación que les suministre energía eléctrica para su funcionamiento.

Para que el funcionamiento de un microcontrolador sea correcto, la tensión aplicada al terminal de alimentación del mismo debe estar comprendida dentro de un rango definido (en forma de porcentaje) en torno al valor nominal especificado por el fabricante en las hojas de características técnicas del dispositivo. La desviación permitida con respecto a dicho valor suele ser del 5 %. Para asegurar el cumplimiento de esta restricción suelen emplearse fuentes de alimentación reguladas, que mantienen prácticamente constante el valor de su tensión de salida mientras el nivel de intensidad suministrado no supere un determinado valor (Io_{max}).

El diseño de estas fuentes de alimentación se simplifica extraordinariamente haciendo uso de reguladores de tensión integrados, tales como los de la serie 78XX (para voltajes positivos) y los de la serie 79XX (para voltajes negativos), los cuales poseen una tolerancia en su tensión de salida comprendida entre el 2 y el 4 %.

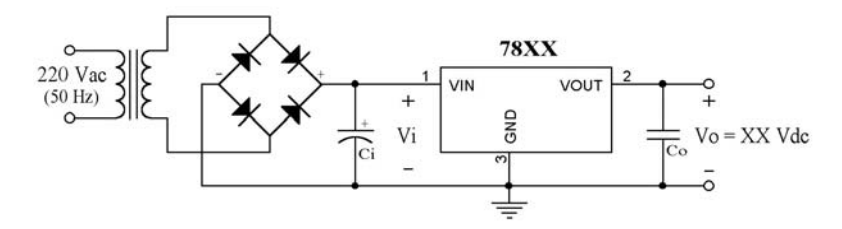


Figura 1.4. Fuente de alimentación regulada para tensiones positivas.

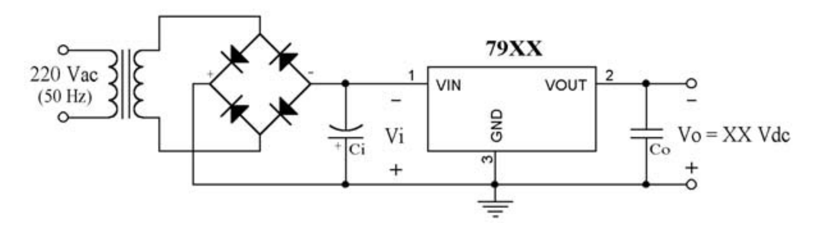
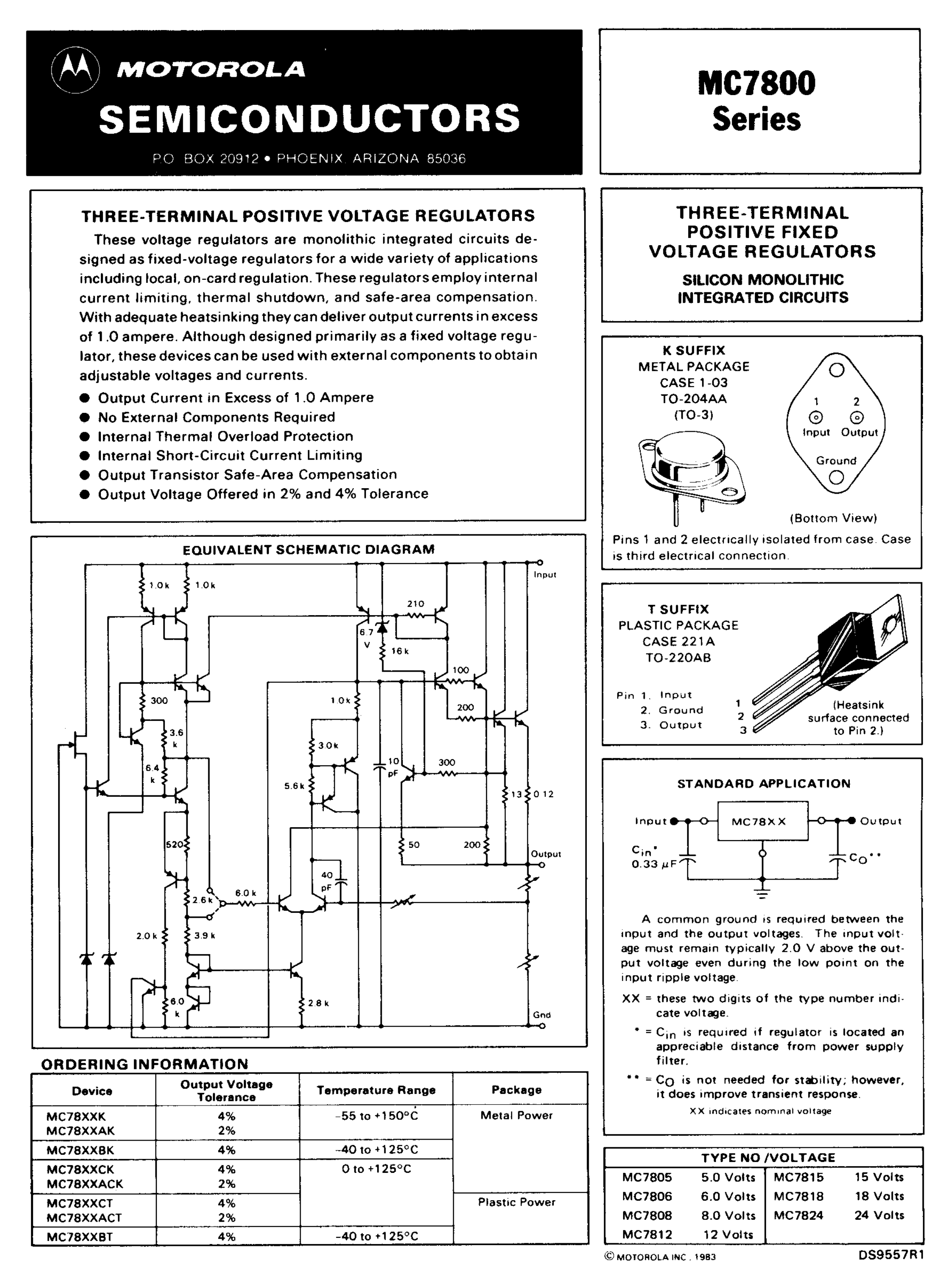


Figura 1.5. Fuente de alimentación regulada para tensiones negativas.

En la Figura 1.6 se representa la hoja de características técnicas de la serie de reguladores monolíticos de tres terminales MC78XX de la firma Motorola.



MOTOROLA
SEMICONDUCTORS
P.O. BOX 20912 • PHOENIX, ARIZONA 85036

MC7800 Series

THREE-TERMINAL POSITIVE VOLTAGE REGULATORS

These voltage regulators are monolithic integrated circuits designed as fixed-voltage regulators for a wide variety of applications including local, on-card regulation. These regulators employ internal current limiting, thermal shutdown, and safe-area compensation. With adequate heatsinking they can deliver output currents in excess of 1.0 ampere. Although designed primarily as a fixed voltage regulator, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

- Output Current in Excess of 1.0 Ampere
- No External Components Required
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- Output Voltage Offered in 2% and 4% Tolerance

THREE-TERMINAL POSITIVE FIXED VOLTAGE REGULATORS

SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUITS

K SUFFIX
METAL PACKAGE
CASE 1-03
TO-204AA
(TO-3)

Pins 1 and 2 electrically isolated from case. Case is third electrical connection.

T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 221A
TO-220AB

Pin 1. Input
2. Ground
3. Output

EQUIVALENT SCHEMATIC DIAGRAM

STANDARD APPLICATION

A common ground is required between the input and the output voltages. The input voltage must remain typically 2.0 V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.

XX = these two digits of the type number indicate voltage.

* = C_{in} is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.

** = C_O is not needed for stability; however, it does improve transient response.

XX indicates nominal voltage

ORDERING INFORMATION

Device	Output Voltage Tolerance	Temperature Range	Package
MC78XXK MC78XXAK	4% 2%	-55 to +150°C	Metal Power
MC78XXBK	4%	-40 to +125°C	
MC78XXCK MC78XXACK	4% 2%	0 to +125°C	
MC78XXCT MC78XXACT	4% 2%		Plastic Power
MC78XXBT	4%	-40 to +125°C	

TYPE NO./VOLTAGE			
MC7805	5.0 Volts	MC7815	15 Volts
MC7806	6.0 Volts	MC7818	18 Volts
MC7808	8.0 Volts	MC7824	24 Volts
MC7812	12 Volts		

 DS9557R1

Figura 1.6. Serie MC78XX de reguladores monolíticos de Motorola.

El condensador Ci, combinado con la resistencia de entrada del regulador, filtra la tensión de salida del rectificador con objeto de que exista en todo momento una diferencia de al menos dos voltios entre la tensión de entrada (Vi) y la de salida (Vo) del regulador. El cálculo de su capacidad puede realizarse mediante la siguiente fórmula.

$$Ci = \frac{5\,(Vi_{max} - Vo)}{4\,\pi\, f\, \Delta V\, \frac{Vi_{min}}{Io_{max}}}$$

donde:

- Vi_{max} es la tensión de pico en el secundario del transformador menos 2 V.
- f es la frecuencia de la tensión de la red (50 Hz.).
- $Vi_{min} = Vo + 2$ V.
- $\Delta V = Vi_{max} - Vi_{min}$.
- Io_{max} es la intensidad de corriente máxima que deberá suministrar la fuente.

El condensador Co se coloca para eliminar las componentes de alta frecuencia procedentes de la circuitería de carga. El valor aconsejado por los fabricantes es de 100 nF.

En el diseño de fuentes de alimentación con reguladores integrados debe tenerse en cuenta el poder de disipación de potencia de los reguladores. La potencia máxima que pueden disipar estos dispositivos está en torno a los 2 W, si bien estos valores pueden aumentarse colocando a los mismos un radiador de calor. La potencia instantánea disipada puede calcularse mediante la fórmula:

$$P = (Vi - Vo)\, Io$$

1.5 Circuito de reloj

Como todos los dispositivos digitales síncronos, los microprocesadores y microcontroladores necesitan de una señal periódica para su funcionamiento, denominada señal de reloj.

Los microcontroladores de la familia MCS-51 poseen un oscilador interno para la generación de la señal de reloj, necesitando conectarle externamente sólo componentes pasivos, tales como condensadores, cristales de cuarzo, etc. En la Figura 1.7 se representa el circuito externo de reloj utilizado típicamente con los microcontroladores de esta familia.

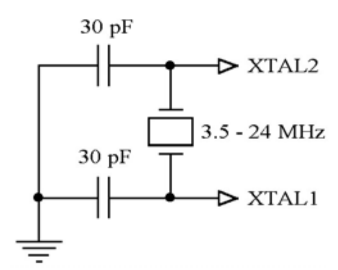


Figura 1.7. Circuitería externa del oscilador de un 8051.

Otra alternativa consiste en la conexión de una señal de reloj externa al microcontrolador, tal como se representa en la Figura 1.8.

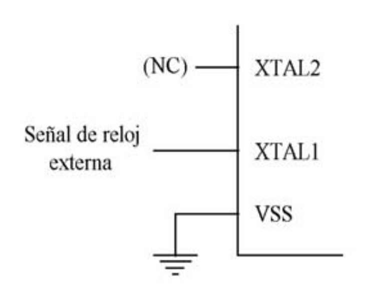


Figura 1.8. Modo de conexión de una señal externa de reloj al 8051 (CHMOS).

1.6 Inicialización del microcontrolador

Cuando se conecta la alimentación al sistema, es necesario que se produzca una inicialización o *reset* del microcontrolador para que el programa empiece a ejecutarse a partir de la primera instrucción. En otras ocasiones, por ejemplo cuando el sistema se queda bloqueado, es preciso proceder a su reinicio durante su funcionamiento.

Además de provocar la lectura de la primera instrucción de la memoria, el *reset* del microcontrolador inicializa el contenido de los registros internos del mismo con unos ciertos valores, como se estudiará mas adelante.

El *reset* del microcontrolador no afecta al contenido de la memoria RAM (excepto a la zona SFR, donde se encuentran los registros internos). Cuando el *reset* se produce tras aplicar la alimentación al sistema, el contenido de la RAM es indeterminado.

1.6.1 Concepto de ciclo máquina

Para esta familia de microcontroladores, un ciclo máquina o ciclo de máquina (Figura 1.9) consiste en una secuencia de 6 "estados" (S1 - S6), cada uno de los cuales se compone a su vez de dos períodos de la señal de reloj, denominados "fases" (P1 y P2). Por tanto, cada ciclo de máquina consta de un total de 12 periodos del oscilador (6 periodos x 2 fases). Así pues, el tiempo que dura la ejecución de un ciclo máquina (t_{CM}) depende de la frecuencia del oscilador y se calcula de la siguiente manera: $T = 1/ f_{osc} \Rightarrow t_{CM} = 12\ T$.

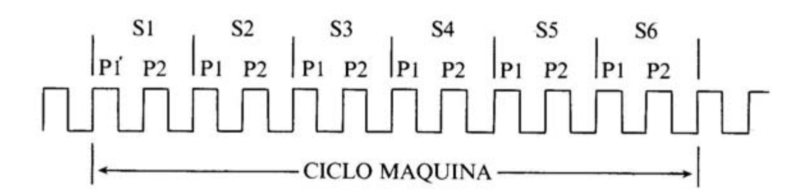


Figura 1.9. Ciclo máquina en la familia MCS-51.

1.6.2 Circuito de *reset*

Para que se produzca la inicialización de un microcontrolador 8051/52, es necesario aplicar un nivel alto a su entrada RESET durante al menos dos ciclos máquina.

El circuito típicamente utilizado para la inicialización del microcontrolador 8051/52 se muestra en la Figura 1.10. La conexión en serie del condensador y la resistencia produce un *reset* automático del microcontrolador al conectar la alimentación al sistema. Por su parte, el pulsador en paralelo con el condensador permite al usuario provocar la inicialización del microcontrolador en cualquier momento de forma manual.

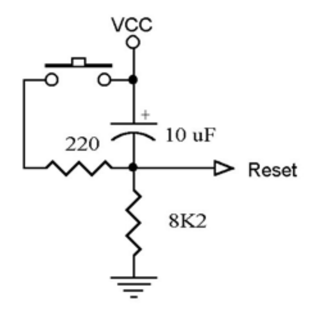


Figura 1.10. Circuito de *reset* automático/manual para el 8051/52.

1.7 Sistema mínimo para un microcontrolador 8051/52

Teniendo en cuenta todo lo explicado en los apartados anteriores, podemos deducir que el circuito mínimo a implementar para construir un sistema alrededor de un microcontrolador 8051/52, debe ser similar al mostrado en la Figura 1.11.

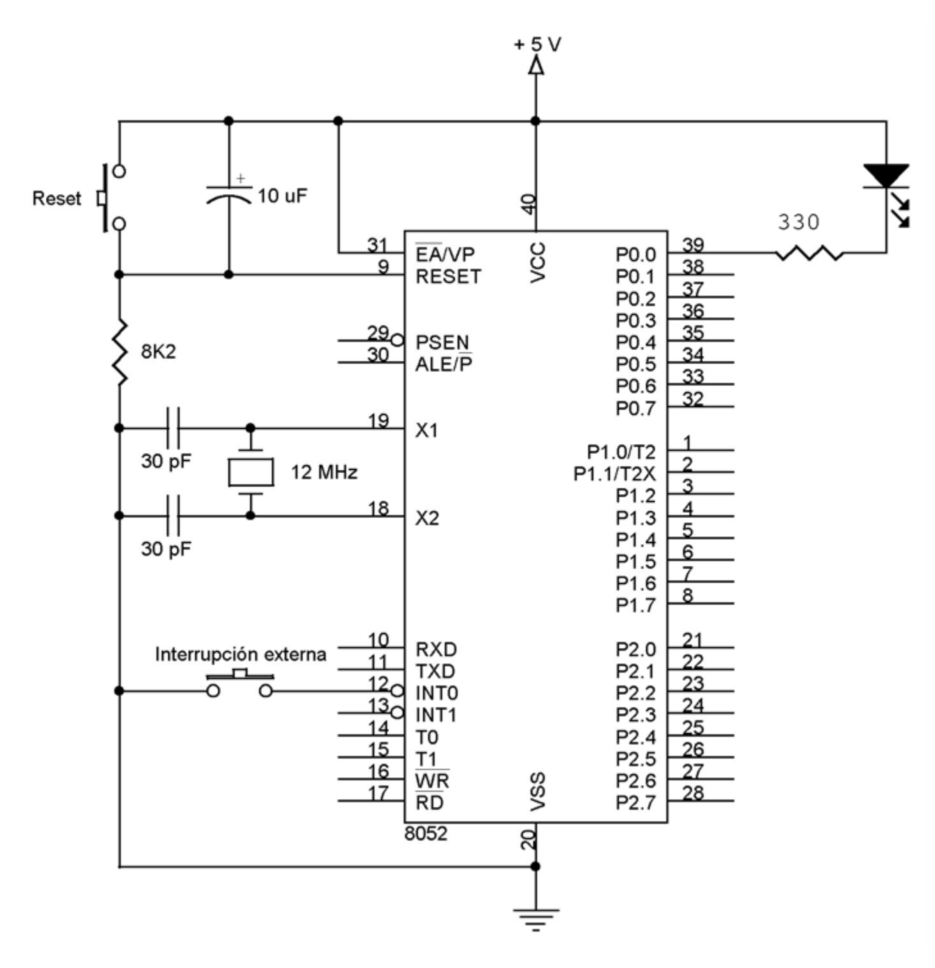


Figura 1.11. Sistema mínimo para el 8051/52.

En dicho circuito no se ha representado la fuente de alimentación, que tendría una estructura similar a la mostrada en la figura 1.4, usando un regulador de tensión 7805. Por otro lado, para hacer uso de la memoria de código interna, la línea $\overline{\text{EA}}$ se ha conectado a VCC.

Aunque el sistema podría funcionar sin su existencia, se han introducido dos elementos cuya función se comenta seguidamente:

- **LED:** Aunque sin su presencia se podría ejecutar un programa en el microcontrolador, en la práctica ello no tendría sentido, ya que todo sistema se implementa para resolver un problema y, en consecuencia, para interactuar con su entorno. A través del LED, el sistema puede comunicar al usuario de manera visual los resultados del proceso.

- **Pulsador de interrupción:** Este dispositivo permite al usuario intervenir sobre el proceso mediante la generación de una interrupción externa. Sin su existencia, el usuario sería un mero espectador.